

Vít KŘIVÝ¹, Kateřina KREISLOVÁ², Viktor URBAN³

**ZHODNOCENÍ VÝVOJE PATINY NA TRÁMOVÝCH MOSTECH S HORNÍ MOSTOVKOU
NAVRŽENÝCH Z PATINUJÍCÍCH OCELÍ**

**EVALUATION OF PATINA DEVELOPMENT ON GIRDER BRIDGES WITH THE ROADWAY
ABOVE THE SUPPORT DESIGNED FROM WEATHERING STEELS**

Abstrakt

Článek se zabývá zhodnocením vývoje korozních produktů na nosných konstrukcích trémových mostů s horní mostovkou navržených z ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, tzv. patinujících ocelí. Uvedena je základní metodika hodnocení vývoje korozních produktů včetně výsledků experimentálního měření. V článku jsou rovněž uvedeny a diskutovány příklady typických poruch ve vývoji patiny.

Klíčová slova

patinující ocel, mosty, ocelové konstrukce, patina, koroze, atmosférické korozní zkoušky

Abstract

The paper deals with the evaluation of corrosion products on load-bearing structures of girder bridges with upper bridge deck that are designed from structural steels with improved atmospheric corrosion resistance, so-called weathering steels. The basic methodology for evaluation of corrosion processes including the results of experimental measurement is introduced in this paper. Typical failures in development of corrosion products also stated and discussed.

Keywords

Weathering steel, bridges, steel structures, patina, corrosion, atmospheric corrosion tests.

1 ÚVOD

Konstrukční patinující oceli se pro realizaci různých typů venkovních nosných konstrukcí ve stavu bez protikorozi povrchové úpravy používají ve světě (USA, Německo, Japonsko, Jižní Korea, Francie, Švýcarsko aj.) i v České republice již asi 50 let [1 - 4].

V České republice se tyto oceli po několika ověřovacích konstrukcích v 70. a 80. letech minulého století velmi rychle prosadily pro konstrukce budov, stožárů a zejména pro řadu významných mostních konstrukcí. V tomto dlouhém období bylo možné formulovat a prakticky ověřit hlavní zásady pro optimální navrhování konstrukcí z patinujících ocelí, důležité konstrukční zásady, výrobní postupy a racionální údržbu, nutné pro zajištění jejich dlouhodobé životnosti a spolehlivé funkce [5].

¹ Doc. Ing. Vít Křivý, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 363, e-mail: vit.krivy@vsb.cz.

² Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D., SVÚOM, s.r.o., U Měšťanského pivovaru 934/4, 170 00 Praha 7 – Holešovice, tel.: (+420) 220 801 297, e-mail: kreislova@svuom.cz.

³ Ing. Viktor Urban, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 925, e-mail: viktor.urban@vsb.cz.

S využitím dřívějších zkušeností z realizace a provozního hodnocení starších konstrukcí byla po roce 2000 v České republice realizována řada nových velkých a významných konstrukcí, ve kterých již bylo možné v plném rozsahu využít příznivé vlastnosti patinujících ocelí i dlouhodobě ověřené poznatky výzkumných pracovníků a projektantů ocelových konstrukcí. Jsou to především velké dálniční a silniční mosty v oblasti Ostravska a mosty na dálnici D8 [6].

V rámci výzkumných aktivit autorů článku bylo v nedávné době provedeno základní hodnocení korozního vývoje na většině trémových mostů s horní mostovkou situovaných na území České republiky. Základní metody hodnocení patiny použité při prohlídkách mostů jsou uvedeny v části 2.1. Obecné zhodnocení vývoje korozních produktů je uvedeno v části 2.2. Podrobnější hodnocení korozních procesů, zahrnující realizaci experimentálních atmosférických korozních zkoušek [7], bylo provedeno na 8 trémových mostech s horní mostovkou navržených z patinující oceli Atmofix B (S355J2W), viz tabulka 1. Výsledky experimentálního měření tloušťek korozních produktů včetně jejich základního statistického vyhodnocení jsou uvedeny v části 2.3. Příklady typických poruch ve vývoji patiny a doporučených konstrukčních řešení jsou uvedeny v části 2.4.

Tab. 1: Trémové mosty s horní mostovkou zahrnuté do experimentálních atmosférických korozních zkoušek [7]

Testovaná konstrukce	Počátek expozice ocelové konstrukce	Počet testovaných povrchů
01 - Silniční most přes řeku Ostravici ve Frýdku-Místku	1986	8
02 - Železniční most v Praze - Motole	1981	8
03 - Silniční most přes trať ČD na silnici II/470 v Ostravě	2008	16
04 - Silniční most přes řeku Odru na silnici II/470 v Ostravě	2008	8
05 - Silniční most přes trať ČD na silnici I/56 v Ostravě	2008	9
06 - Silniční most na ulici Opavské přes dálnici D1 v Ostravě	2001	12
07 - Silniční most na ulici Opavské přes trať ČD v Ostravě	1983	6
08 – Silniční most přes řeku Opavu na silnici I/11 v Opavě	2008	9

2 POZNATKY Z PROHLÍDEK MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ ZAMĚŘENÝCH NA ZHODNOCENÍ VÝVOJE KOROZNÍCH PRODUKTŮ

2.1 Základní metody hodnocení patiny použité při prohlídkách mostních konstrukcí

Základní metodou hodnocení vývoje korozních produktů na mostní konstrukci je vizuální kontrola, která se zaměřuje především na následující oblasti a problémy:

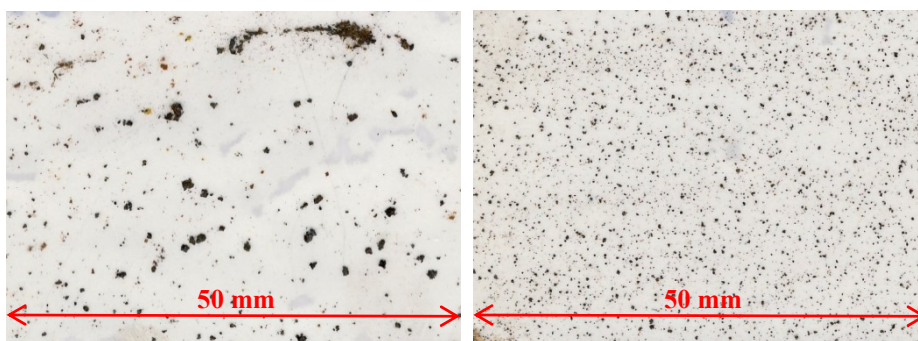
- posoudit, zda se na konstrukci vyvinula rovnoměrná a dostatečně ochranná patina, určit oblasti s porušenou nebo nedostatečně ochrannou patinou;
- zjistit, zda se na některých částech konstrukce shromažďují a ve větším množství zadržují nečistoty, prach či spad rzi, které mohou způsobit, že v daném místě je povrch oceli dlouhodobě vystaven zvýšené vlhkosti;
- zjistit, zda se na některých částech konstrukce trvale zadržuje voda, nebo zda je v těsné blízkosti konstrukce vegetace, která způsobuje zvýšené ovlhčování konstrukce;
- zjistit, zda je povrch konstrukce kontaminován zbytky stavebních materiálů, barev nebo jiných nečistot;
- zjistit, zda je ocelová konstrukce v místě kotvení v přímém kontaktu se zeminou, sutí, násypy či jinými usazenými nečistotami a posoudit stav betonových základů;
- zjistit, zda dochází k pronikání vody přes netěsné dilatace nebo mostní závěry a zda přitom dochází k přímému smáčení ocelové konstrukce;

- posoudit, zda je systém odvodnění konstrukce spolehlivý a funkční;
- posoudit, zda dochází k zatékání do uzavřených dutých prvků nebo komorových průřezů;
- zjistit, zda v detailech šroubových spojů dochází ke vzniku spárové koroze;
- zjistit, zda na provozované konstrukci byly prováděny dodatečné úpravy

Ochranná schopnost patiny byla u všech mostních konstrukcí rovněž hodnocena na základě podílů přilnavých a nepřilnavých podílů vrstvy rzi. Metoda „otisků z vrstvy rzi“ spočívá v pevném přitlačení samolepící pásky na povrch konstrukčního prvku. Páska se sejme kolmo k povrchu a na bílém podkladu se hodnotí velikost a četnosti ulpělých částic rzi, viz obrázek 1. Velikost částic menších než 1 mm, jemné a rovnoměrné částice jsou typické pro ochranné patiny. Patiny vytvořené na površích, které nejsou vystaveny přímým dešťovým srážkám, vykazují relativně vysoký podíl drobných nesoudržných částic. Zvyšující se podíl sejmutých částic rzi s velikostí nad 5 mm ukazuje na sníženou ochrannou účinnost vrstvy rzi, viz obrázek 2. Podrobně vypracovaný systém hodnocení ochranných vlastností patiny na základě velikosti nepřilnavých částic a tloušťky vrstvy korozních produktů lze nalézt v [8].



Obr. 1: Příklady umístění samolepících pásek na typických plochách konstrukce (vlevo – silniční most přes řeku Opavu na dálnici D1 v Ostravě, vpravo - železniční most v Praze - Motole)



Obr. 2: Otisk z vrstvy rzi (most přes řeku Ostravicí ve Frýdku-Místku): vlevo - otisk rzi z vnitřní plochy ovlivněné zatékáním; vpravo - otisk rzi z vnitřní plochy s příznivým vývojem patiny

Na typických plochách trámových mostů bylo provedeno systematické měření tloušťky korozních produktů, které lze použít pro statistické vyhodnocení korozních procesů. Měření tloušťky korozních produktů se provádí běžnými tloušťkoměry na magneticko-indukčním principu, protože vrstva korozních produktů je nemagnetická. Na základě měřených hodnot průměrné tloušťky korozních vrstev je možné poměrně spolehlivě odhadnout stupeň ochranných vlastností patiny [9]:

- u plně ochranné patiny je tloušťka vrstvy v rozmezí 60 až 350 μm ;
- na plochách s průměrnou tloušťkou vrstvy 350 až 600 μm může patina stále vykazovat potřebné ochranné vlastnosti, pro určení reálných hodnot korozních rychlostí však je

potřebné provést podrobnější zkoumání (měření zbytkových tloušťek materiálu, analýza korozních vrstev, atmosférické korozní zkoušky [7]);

- pokud průměrná tloušťka korozní vrstvy je větší než 600 μm , potom již patina pravděpodobně nebude mít dostatečně ochranné vlastnosti. Vrstvy s průměrnou tloušťkou nad 600 μm jsou obvykle snadno identifikovatelné vizuální prohlídkou, vrstvy jsou velmi objemné, nepřilnavé a odlupují se z povrchu konstrukce.

U vybraných konstrukčních prvků posuzovaných mostů byly ultrazvukovou metodou změřeny reálné tloušťky. Měření zbytkových tloušťek bylo prováděno především v případech, kdy na základě výše uvedených metod hodnocení vývoje korozních produktů vzniklo podezření na omezení ochranné funkce patiny. Pomocí měření reálných tloušťek konstrukčních prvků lze prokázat, zda hodnocená porucha ve vývoji korozních produktů je pouze vizuální nebo zda dochází k významnému oslabování nosného prvku. Aby bylo možné vyhodnotit vliv poruchy, bylo vždy provedeno srovnávací měření na totožné ploše stejného konstrukčního prvku, avšak s vizuálně příznivým vývojem patiny.

2.2 Obecné zhodnocení vývoje korozních produktů

Všechny hodnocené mosty byly navrženy jako trémové s horní mostovkou, ať již ocelovou ortotropní nebo železobetonovou. Toto konstrukční řešení mostu je vhodné pro aplikaci patinujících ocelí. U mostů pozemních komunikací s horní mostovkou totiž nedochází k přímému kontaktu mezi povrchem ocelové nosné konstrukce a vodou z vozovky, která v zimním období obsahuje chemické rozmrazovací látky.

Z provedených prohlídek zaměřených na zhodnocení vývoje korozních produktů vyplývá, že na všech posuzovaných mostních konstrukcích se vytvořila dostatečně ochranná vrstva korozních produktů. V případech, kdy byly na mostní konstrukci identifikovány významné poruchy ve vývoji patiny, měly tyto poruchy vždy lokální charakter. Například u mostů na dálnici D1 u Ostravy, které mají hlavní nosníky ve tvaru svařeného I průřezu, představují plochy s poruchami patiny maximálně 2 % ze všech exponovaných povrchů ocelové konstrukce mostu. U mostů s komorovými hlavními nosníky bylo identifikováno maximálně 0,1 % korozně poškozených ploch.

Nejčtenější příčinou vedoucí k lokálním poruchám ve vývoji patiny jsou netěsnosti v systému odvodnění mostů a mostních závěrů. Poruchy jsou však způsobeny i jevy, které se při návrhu konstrukce složitěji předvídají, například prostup vlhkosti a nečistot širokým zrcadlem mezi souběžnými konstrukcemi mostů v podélném oblouku. Podrobnější rozbor jednotlivých typů poruch je uveden v kapitole 2.4.

Za korozně významné poruchy ve vývoji patiny lze označit všechny poruchy, které z krátkodobého či dlouhodobého hlediska mohou vést ke staticky nepřijatelnému koroznímu oslabování konstrukce. Nepřijatelné je rovněž korozní poškození konstrukce, které snižuje únavovou odolnost konstrukčních detailů oproti hodnotám předpokládaným projektem [10 - 12].

Některé nedostatky ve vzhledu patiny nemají charakter staticky významných poruch a lze je proto označit za poruchy vizuální. U těchto poruch nedochází k nepřijatelnému koroznímu oslabování konstrukce. Tloušťka korozních produktů v oblasti zasažené vizuální poruchou je obdobná jako u sousedních poruchou nezasazených ploch. Velikost a četnost částic ulpělých na otisku vrstvy rzi se oproti sousedním plochám příliš neodlišuje.

Typickou vizuální poruchou patiny u mostů z patinujících ocelí je tmavší a mírně objemnější patina v dolní části stěn vysokých I nosníků nebo komorových nosníků, viz obrázek 3. Tento jev nastává pouze na vnějších stěnách hlavních nosníků. Změna v barvě a struktuře patiny je způsobena vyšším ovlhčením stěny v oblasti připojení dolní pásnice (na pásnici se zadržuje více vlhkosti, nečistot a v zimním období také sněhu). Experimentální měření provedená na mostních konstrukcích potvrdila, že takto vizuálně ovlivněná patina je dostatečně ochranná a že nedochází k výraznějšímu oslabování v porovnání s výše umístěnými částmi stěny [7]. Závažné poruchy byly zjištěny pouze pod netěsnými mostními závěry nebo při silně zanedbané údržbě.



Obr. 3: Vizualně ovlivněná patina na stěně hlavních nosníků v oblasti napojení dolní pásnice:
vlevo – železniční most v Praze - Motole; vpravo – silniční most v Bělátně

U mostních konstrukcí s vysokými nosníky mohou vznikat na stěnách nosníků charakteristické svislé stopy po stékající zkondenzované vlhkosti. Vzdušná vlhkost kondenzuje především v horní části stěny a na dolní ploše horní pásnice. Ochranná funkce patiny není stékající zkondenzovanou vlhkostí ovlivněna.

Objemnější korozní produkty ve srovnání se stěnou hlavních nosníků trámových mostů s horní mostovkou vznikají na pásnicích nosníků – konkrétní údaje pro mosty uvedené v tabulce 1 jsou uvedeny v kapitole 2.3. Odlišná tloušťka korozních produktů na různých typických plochách nosné konstrukce je přirozený jev [9]. Pokud ustálená tloušťka vrstev rzi nepřesahuje hodnotu 350 μm , pak má patina plně ochranné vlastnosti.

2.3 Experimentální měření tloušťky vrstev korozních produktů

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky experimentálního měření tlouštěk korozních produktů, které se vyvinuly na typických plochách mostních konstrukcí uvedených v tabulce 1. Na každé hodnocené ploše bylo provedeno a statisticky vyhodnoceno 30 měření. Zjištěné hodnoty průměrných tlouštěk korozních produktů jsou uvedeny v tabulce 2. Výsledky měření uvedené v tabulce 2 odpovídají typickým povrchům mostních konstrukcí s vizuálně příznivým vývojem korozních produktů, povrchy nejsou vystaveny zatékání z netěsného systému odvodnění mostu.

Tab. 2: Průměrné tloušťky korozních produktů na typických plochách nosné konstrukce mostů

Hodnocený povrch	Testované konstrukce (viz tabulka 1)							
	01	02	03	04	05	06	07	08
Průměrné tloušťky korozních produktů na typických plochách nosné konstrukce mostů [μm] (v závorce jsou uvedeny hodnoty variačního koeficientu V_x)								
Vnější stěna hlavního nosníku	76,3 (0,21)	81,8 (0,32)	60,9 (0,25)	59,4 (0,22)	63,7 (0,27)	127,1 (0,36)	90,9 (0,29)	67,4 (0,37)
Vnější stěna hlavního nosníku v oblasti nad dolní pásnicí	101,4 (0,35)	146,0 (0,28)	72,7 (0,40)	79,8 (0,35)	61,4 (0,28)	183,7 (0,30)	-	68,5 (0,33)
Vnitřní stěna hlavního nosníku	76,9 (0,19)	96,8 (0,38)	77,6 (0,25)	65,7 (0,28)	53,6 (0,29)	110,3 (0,24)	108,9 (0,22)	68,5 (0,27)
Horní vnější povrch dolní pásnice hlavního nosníku	207,0 (0,26)	206,3 (0,19)	149,6 (0,21)	134,8 (0,25)	91,3 (0,25)	272,0 (0,18)	-	120,4 (0,23)
Horní vnitřní povrch dolní pásnice hlavního nosníku	167,9 (0,22)	234,9 (0,26)	121,1 (0,14)	125,4 (0,25)	91,7 (0,28)	-	-	122,0 (0,23)
Podhledová plocha horní pásnice hlavního nosníku nebo plech mostovky	104,5 (0,25)	185,7 (0,23)	113,9 (0,28)	108,2 (0,34)	105,3 (0,25)	134,1 (0,27)	114,2 (0,19)	102,3 (0,23)
Podhledová plocha dolní pásnice hlavního nosníku	-	80,1 (0,28)	118,0 (0,30)	73,6 (0,48)	66,7 (0,24)	158,4 (0,31)	168,2 (0,26)	112,8 (0,28)

Mostní konstrukce zahrnuté do programu experimentálního měření se nacházejí v odlišných lokalitách, mosty navíc nejsou stejně staré. Pro vyhodnocení vlivu polohy na průběh korozních procesů proto není příliš vhodné srovnávat absolutní hodnoty experimentálně zjištěných údajů z různých konstrukcí. Za srovnávací kritérium byly proto zvoleny poměrové veličiny vztažené k vhodné referenční ploše, za kterou byla zvolena vnější stěna hlavních nosníků mostu. Doba expozice u mostů postavených v roce 2008 byla v době měření 7 let - vrstva korozních produktů už je poměrně stabilní, i když nelze vyloučit další mírný nárůst korozních tloušťek v průběhu další expozice.

V základním statistickém zhodnocení experimentálně změřených výsledků jsou uvedeny průměrné hodnoty (m_x) a variační koeficienty (V_x) zjištěných poměrů tloušťek korozních produktů. Z praktického hlediska je vhodné rovněž určit hraniční hodnoty očekávaných výsledků, například 5% a 95% kvantil. U zjištěných poměrů tloušťek korozních produktů se předpokládá normální rozdělení náhodné veličiny, pro odhad kvantilů lze proto použít vztahy uvedené v Eurokódech [13]:

$$x_{0,05} = m_x(1 - k_n V_x) \quad (1)$$

$$x_{0,95} = m_x(1 + k_n V_x) \quad (2)$$

Hodnota koeficientu k_n je závislá na rozsahu náhodného výběru (pro $n = 6$ je $k_n = 2,18$; pro $n = 7$ je $k_n = 2,09$; pro $n = 8$ je $k_n = 2,00$).

Z hodnot uvedených v tabulce 2 vyplývá, že nejvíce objemné vrstvy korozních produktů se vytvořily na horních površích dolních pásnic hlavních nosníků. Průměrná hodnota tloušťky patiny na vnějších pásnicích je 2,19x vyšší ve srovnání s přilehlou vnější stěnou hlavního nosníku (variační koeficient uvedeného poměru je $V_x = 0,19$; 5% kvantil $x_{0,05} = 1,32$; 95% kvantil $x_{0,95} = 3,05$). Maximální průměrná hodnota 272,0 μm nepřekračuje doporučenou přípustnou hodnotu pro plně ochranné patiny rovnou 350 μm [9]. Pro vnitřní pásnice byla ve srovnání s vnějšími pásnicemi zjištěna mírně nižší průměrná hodnota poměru tloušťek vrstvy rzi mezi hodnocenou a referenční plochou. Ve vztahu k referenční vnější stěně hlavního nosníku jsou průměrné tloušťky korozních produktů přibližně 2,08x vyšší (variační koeficient uvedeného poměru je $V_x = 0,21$; 5% kvantil $x_{0,05} = 1,13$; 95% kvantil $x_{0,95} = 3,04$).

Objemnější vrstva korozních produktů se čteněji vytváří v dolní vnější části stěn hlavních nosníků, tj. v oblasti připojení dolní pásnice. Průměrná tloušťka korozních produktů na stěně v oblasti přilehlé k dolní pásnici je přibližně 1,31násobkem hodnot na běžné, referenční, ploše stěny (variační koeficient uvedeného poměru je $V_x = 0,19$; 5% kvantil $x_{0,05} = 0,77$; 95% kvantil $x_{0,95} = 1,84$).

Z porovnání korozních procesů na vnějších a vnitřních stěnách hlavních nosníků vyplývá, že tloušťky korozních vrstev se na obou typech povrchů příliš neliší – průměrné tloušťky na vnitřních površích jsou 1,06násobkem průměrných tloušťek vnějších referenčních povrchů (variační koeficient uvedeného poměru je $V_x = 0,14$; 5% kvantil $x_{0,05} = 0,77$; 95% kvantil $x_{0,95} = 1,35$).

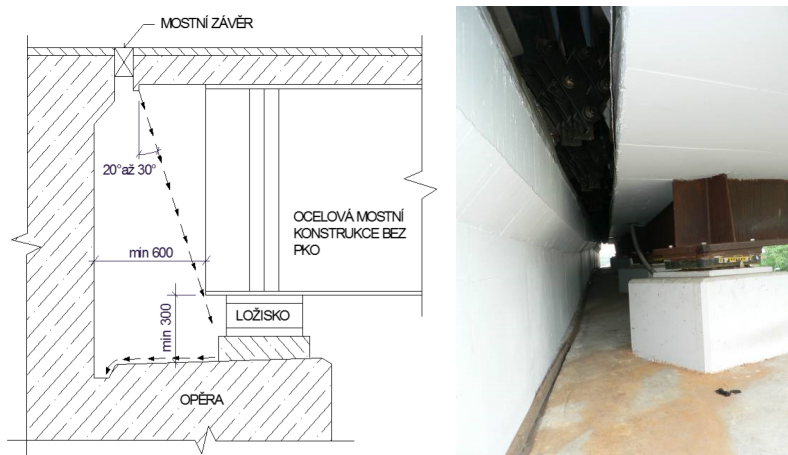
Vyšší tloušťky korozních produktů byly v porovnání s referenční vnější stěnou změřeny na podhledových plochách. U podhledové plochy horní pásnice, popř. plechu ortotropní mostovky, byl změřen 1,60násobek průměrné tloušťky korozních produktů referenční stěny (variační koeficient uvedeného poměru je $V_x = 0,23$; 5% kvantil $x_{0,05} = 0,88$; 95% kvantil $x_{0,95} = 2,33$). U podhledové plochy dolních pásnic jsou průměrné tloušťky korozních produktů 1,42x vyšší ve srovnání s referenční plochou (variační koeficient uvedeného poměru je $V_x = 0,25$; 5% kvantil $x_{0,05} = 0,67$; 95% kvantil $x_{0,95} = 2,18$).

2.4 Závislost mezi konstrukčním řešením mostu a poruchami ve vývoji patiny

V následující části jsou uvedeny nejčastější příčiny poruch ve vývoji ochranné patiny na mostních konstrukcích s horní mostovkou. Pozornost je věnována vhodným konstrukčním opatřením, pomocí kterých lze u nově navrhovaných konstrukcí minimalizovat riziko vzniku poruch. Některá doporučení lze také využít při opravách korozně poškozených částí konstrukcí.

Netěsnost mostních závěrů je jednou z nejčastějších příčin významných poruch vývoje patiny u mostů pozemních komunikací. Při návrhu mostních konstrukcí z patinujících ocelí je proto potřeba

eliminovat počet mostních závěrů na minimum. Toho lze dosáhnout především návrhem spojitých mostních konstrukcí. Další možností je navrhování integrovaných mostů [14], u kterých je hlavní nosná konstrukce mostu spojena se spodní stavbou do jednoho konstrukčního celku a potřeba mostních závěrů zcela odpadá. V průběhu návrhové životnosti mostní konstrukce by mělo docházet k pravidelné kontrole a údržbě mostních závěrů. Tento důležitý předpoklad často není u reálně provozovaných konstrukcí naplněn, a proto je vhodné již při návrhu nosné konstrukce mostu preventivně uvážit situaci, kdy dojde k poruše těsnosti mostního závěru a k následnému zatékání vody a nečistot z vozovky. Ukončení nosné konstrukce nad opěrou se proto doporučuje navrhnout tak, aby ani při porušení těsnosti mostního závěru nedocházelo k významnému zatékání na nechráněnou ocelovou konstrukci [9], viz obrázek 4.



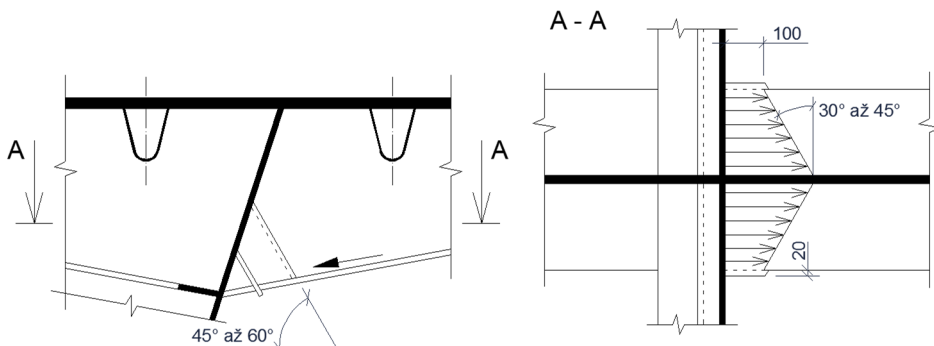
Obr. 4: Vhodné ukončení nosné konstrukce mostu u opěry; vlevo – doporučené rozměry; vpravo – silniční most v Brně

Vhodným konstrukčním opatřením je návrh šikmých plechů mezi stěnou hlavního nosníku a hranou dolní pásnice u nosných profilů tvaru I, viz obrázek 5. Šikmé plechy mohou plnit různé funkce – zabraňují přístupu nepovolaných osob na nosnou konstrukci mostu, lze je využít i staticky a v neposlední řadě zabraňují pronikání vody a nečistot na horní plochu dolní pásnice a přilehlou část stěny v místě opěry. Šikmé plechy je proto vhodné navrhovat především v oblasti ukončení hlavních nosníků u opěry mostu. Z korozního hlediska je optimální navrhovat šikmý plech na délku přibližně 1,5násobku výšky ocelové konstrukce od ukončení hlavního nosníku. Šikmé plechy je vhodné navrhovat také u příčných výztuh nosných profilů tvaru I, a to především v případech, kdy panuje obava z možné kumulace nečistot a spadu rzi v oblasti napojení příčné výztuhy na dolní pásnici hlavního nosníku, například u příčných výztuh nad pilíři mostu, tvořících bariéru vodě stékající po dolní pásnici hlavního nosníku z důvodu podélného sklonu nebo nadvýšení konstrukce.



Obr. 5: Příklady realizace šikmých plechů: vlevo – šikmý plech u opěry; vpravo – šikmý plech u svislé výztuhy nad pilířem

Připojení příčné konzoly na hlavní nosník je potřeba konstrukčně vyřešit tak, aby nemohlo docházet ke kumulaci prachu, nečistot a uvolněné rzi. Vzniklý kout je vhodné zakrýt šikmým plechem, například podle obrázku 6. Příklad nevhodného řešení připojení příčné konzoly na hlavní nosník, kdy dochází k zadržování nečistot v koutu bez šikmého plechu, je uveden na obrázku 7.



Obr. 6: Doporučené připojení příčné konzoly na hlavní nosník [9]



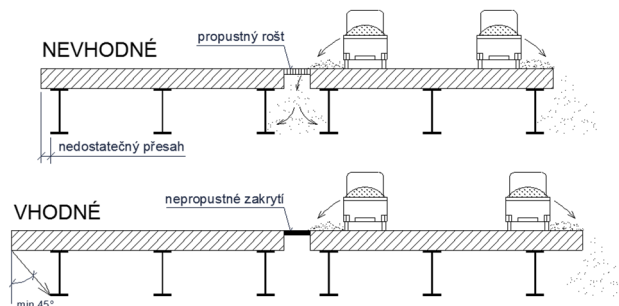
Obr. 7: Příklad připojení příčné konzoly na hlavní nosník – v koutu se kumulují nečistoty

Jednou z nejčastějších příčin poruch ve vývoji patiny je zatékání ze systému odvodnění mostu. Zatékání ze systému odvodnění je často zapříčiněno vandalizmem, nekvalitní realizací či nedostatečnou kontrolou a údržbou provozovaných konstrukcí. K minimalizaci poruch od zatékání lze však přispět i vhodným návrhem systému odvodnění. Svislé odtokové trubky procházející deskou mostovky mají mít dostatečnou délku, aby i při silném větru nedocházelo ke smáčení ocelové konstrukce pod deskou (příklad závažné poruchy od chybějící odvodňovací trubky izolace mostovky je uveden na obrázku 8). Počet odtokových trubek má být minimální. Optimální je takovýto systém odvodnění vůbec nenavrhovat a používat podélný odvodňovací systém.



Obr. 8: Příklad lokální poruchy od zatékání z nefunkčního systému odvodnění

U mostů, které jsou tvořeny dvěma souběžnými samostatnými konstrukcemi, je potřeba zabránit pronikání nečistot a vlhkosti do vnitřního prostoru mezi oběma mosty, viz obrázek 9. Vnitřní nosníky totiž nejsou dostatečně větrány, nečistoty a odstříkující voda z vozovky se tak snadno usazují na dolních pásnicích. Problémy mohou nastat především u souběžných mostů s širokým nezakrytým zrcadlem, které jsou ve směrovém oblouku (výšková úroveň okrajů mostů v zrcadle je odlišná - nečistoty a odstříkující voda z vozovky se koncentrují na dolní pásnici mostu s vyšší úrovní okraje v zrcadle mostu).



Obr. 9: Souběžné mostní konstrukce

Prostor mezi souběžnými konstrukcemi je potřeba nepropustně zakrýt v oblasti „parkovacích“ pozic revizních lávek, viz obrázek 10. Zároveň je potřeba dostatečně účinně vyřešit systém odvodnění lávek, aby nemohlo docházet ke zvýšenému ovlhčování přilehlé ocelové konstrukce od vody stékající z revizní lávky.



Obr. 10: „Parkovací“ pozice revizních lávek mostů – příklady: vlevo – dostatečné zakrytí zrcadla mezi souběžnými mosty; vpravo – lokální porucha patiny od zatékání z revizní lávky

Při návrhu mostních konstrukcí s omezeným provětráváním, které vedou nad provozovanou silniční komunikací, je potřeba uvážit možný efekt usazování chloridů na nepřímo ovlhčovaných plochách dolních pásnic mostů. Jedná se především o mosty, které svým konstrukčním řešením vytvoří lokální mikroklima podobné podmínkám v tunelech. Panuje-li obava z možného usazování chloridů na dolních pásnicích, pak se doporučuje opatřit celou délku dolních pásnic šikmými plechy mezi stěnou hlavního nosníku a hranou dolní pásnice, viz obrázek 5.

3 ZÁVĚR

Použití patinujících ocelí pro mostní konstrukce může být v řadě případů výhodnější v porovnání s ocelovými konstrukcemi chráněnými tradičními systémy protikorozi ochrany. K patinující oceli však nelze přistupovat jako ke konstrukčnímu materiálu, který je všestranně použitelný pro širokou škálu ocelových konstrukcí a konstrukčních systémů. Zásadní podmínkou vhodného uplatnění patinujících ocelí jako konstrukčního materiálu je respektování specifických požadavků souvisejících s použitím patinujících ocelí – konstrukce musí být umístěny ve vhodném prostředí, při návrhu konstrukčního systému je potřeba respektovat zásady vhodného dispozičního a konstrukčního uspořádání, velmi důležitým faktorem je rovněž pravidelná kontrola a údržba

konstrukcí. Při dodržení zásad správného návrhu, výroby a údržby konstrukcí se mohou výrazně uplatnit všechny výhody plynoucí z použití patinujících ocelí jako konstrukčního materiálu. Hlavními přínosy oproti konstrukcím, které jsou chráněny tradičními systémy protikorozní ochrany, jsou nižší pořizovací náklady na výrobu a montáž a výrazně nižší náklady související s dlouhodobou údržbou konstrukce. Konstrukce navržené z patinujících ocelí podstatně méně zatěžují životní prostředí v porovnání s konstrukcemi chráněnými před korozí pomocí nátěrových systémů. V současné době již není potřebné provádět roční korozní zkoušky v lokalitě projektovaných konstrukcí. Jedním z důvodů je výrazné snížení korozní agresivity na území České republiky po realizaci odsíření všech velkých a středních zdrojů znečištění ovzduší. Dále byla v roce 2010 [9] vypracována mapa České republiky s korozními úbytky patinujících ocelí, která byla v roce 2014 aktualizována. Tyto podklady mohou napomoci při navrhování mostních konstrukcí z této oceli.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevok byl realizován za finančního přispění Grantové agentury ČR, projekt č. 13-16124P.

LITERATURA

- [1] ALBRECHT, P. & HALL, T.T. Atmospheric corrosion resistance of structural steel. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2003, Volume 15, Issue 1, pp. 2-24. ISSN 0899-1561.
- [2] MORCILLO, M. et al. Weathering steels: From empirical development to scientific design. A review. *Corrosion Science*. 2014, Volume 83, pp. 6-31. ISSN 0010-938X.
- [3] MORCILLO, M. et al. Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review. *Corrosion Science*. 2013, Volume 77, pp. 6-24. ISSN 0010-938X.
- [4] ROZLÍVKA, L. & KŘIVÝ, V. Užití patinujících ocelí Atmofix pro výrobu mostů. In *Sborník 46. celostátní konference OK. Hustopeče: Český svaz vědeckotechnických společností*, 2008, s. 18-20. ISBN 978-80-02-02061-5.
- [5] KNOTKOVÁ, D. et al. Atmospheric corrosion testing in Czechoslovakia. In *Ailor, W.H. (Ed.). Atmospheric Corrosion*. New York: John Wiley and Sons, 1982, pp. 991-1014.
- [6] PECHAL, A. *Mosty. Bridges*. Brno: Vydavatelství Antonín Pechal, CSc., 2009. ISBN 978-80-254-5279-0.
- [7] KŘIVÝ, V. et al. Program of experimental atmospheric corrosion tests of weathering steels. *Koroze a ochrana materiálů*. 2015, 59(1), pp. 7- 18. ISSN -1213.
- [8] YAMAGUCHI, E. Maintenance of Weathering steel bridges. *Steel Construction Today & Tomorrow*. 2015, No. 45, pp. 12-15.
- [9] KŘIVÝ, V. et al. *Směrnice pro používání ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi* Praha: SVUOM Praha, 2011. ISBN 978-80-87444-05-4.
- [10] ALBRECHT, P. & SIDANI, M. *Fatigue strength of Weathering steel for Bridges*. College Park: University of Maryland, Department of Civil Engineering, 1987.
- [11] ALBRECHT, P. & LENWARI, A. Fatigue Strength of Weathered A588 Steel Beams. *Journal of Bridge Engineering*. 2009, Volume 14, Issue 6, pp. 436-443. ISSN 1084-0702.
- [12] KUNZ, L. et al. Fatigue Strength of Weathering Steel. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2012, Volume 18, Issue 1, pp. 18-22. ISSN 1398-1320.
- [13] HOLICKÝ, M & MARKOVÁ, J. *Zásady navrhování stavebních konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1990*. Praha: ČKAIT, 2007. ISBN 978-80-87093-27-6.
- [14] ILES, D.C. *Composite highway bridge design*. Berkshire: The Steel Construction Institute, 2010. ISBN 978-1-85942-188-8.

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Michal Tomko, PhD., Katedra stavební mechaniky, Stavební fakulta, TU v Košiciach.

Ing. Jakub Tkacz, Ph.D., Centrum materiálového výzkumu, Fakulta chemická, VUT v Brně.